

PERANCANGAN ALAT PRAKTIKUM KLASIFIKASI DC CHOPPER PADA LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK

*Design of Practice Instrument of DC Chopper Classification
In Electric Conversion Laboratory*

Oleh :

Charles Ronald Harahap

Email: charleshrp@unila.ac.id

Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung

Abstrak - *DC Chopper* adalah salah satu alat elektronika daya yang sangat berkembang saat ini, yang mana konverter ini sangat memiliki banyak fungsi di dalam dunia industri, salah satunya yaitu digunakan untuk mengatur kecepatan motor arus searah (DC), kontrol motor traksi pada automobil listrik, mobil trolley, kapal pengangkut dll. *DC Chopper* itu sendiri adalah sebuah piranti yang mengubah tegangan sumber arus searah (DC) yang tetap menjadi tegangan DC variabel yang dapat divariasikan dengan menempatkan saklar berkecepatan tinggi antara sumber dan beban. Percobaan klasifikasi *DC chopper* telah dilakukan, yaitu percobaan klasifikasi *dc chopper* kelas A, *chopper* kelas B dan *chopper* kelas C. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis saklar yaitu *BJT*, *Mosfet* dan *IGBT*. Pembangkitan sinyal PWM pada *Mosfet*, *IGBT* dan *BJT* tersebut dihasilkan dan dikendalikan oleh *mikrokontroler Atmega 8535*. Pada *chopper* kelas A, telah dibuktikan bahwa tegangan dan arus dapat bernilai positif (kuadran pertama). Pada *chopper* kelas B, tegangannya bernilai positif dan arus bernilai negatif (kuadran kedua). Kemudian pada *chopper* kelas C, tegangannya bernilai positif sedangkan arusnya dapat bernilai positif atau negatif (kuadran pertama dan kuadran kedua). Bentuk signal gelombang pada *MOSFET* sudah hampir seperti kotak, hal ini disebabkan oleh waktu *switching on* dan *off* hampir sama. Ketika *MOSFET* diberi variasi *duty cycle* maka kenaikan tegangannya setiap interval lebih stabil dan mendekati nilai dari tegangan keluaran perhitungan. Waktu *switching on* pada *IGBT* lebih lama dari pada waktu *off* yang menyebabkan nilai tegangannya selalu diatas dari nilai tegangan perhitungan. Waktu *switching on* pada *BJT* lebih singkat dari pada waktu *off*. Dari karakteristik masing-masing bentuk gelombang tersebut maka dapat disimpulkan bahwa *switching* yang baik adalah *MOSFET* karena waktu *on* dan *off* sudah hampir sama.

Kata kunci : *DC Chopper, MOSFET, BJT, IGBT*

Abstract - *DC chopper* is an instrument of power electronic rapidly growth at the present, that it has

many functions in industrial field such as rotation speed adjustment of direct current (DC) motor, traction motor control in electric automobile, mobile trolley, ship, etc. *DC chopper* is a device to convert a fixed-voltage dc source into a variable voltage dc source that conversion result can be varied by adjusting high speed switch between source and load. Classification of *dc chopper* experiments have been done such as classification of class A *dc chopper*, class B *dc chopper* and class C *dc chopper*. This experiment is done by using various type of switches such as *BJT*, *MOSFET* and *IGBT*. Triggering signal of pulse-width modulation for *MOSFET*, *IGBT* and *BJT* are produced and controlled by *Microcontroller ATmega 8535*. In the class A *dc chopper* has been proven that voltage and current values can be positive (first quadrant). In the class B *dc chopper*, the voltage value is positive and the current value is negative (second quadrant). Then in the class C *dc chopper*, the voltage value is positive and the current value can be positive or negative (first and second quadrant). Wave form signals of *MOSFET* are almost like a square. They are caused by time switching "on" and "off" almost same. When *MOSFET* is given the variation of duty cycle which increase the value of voltage in every interval more stable and approximately to values of calculated output voltage. The time switching "on" of *IGBT* is longer than the time switching "off" which causes voltage value always higher than the value calculated output voltage. Time switching "on" the *BJT* is shorter than the time "off". From the characteristics of each waveform, it can be concluded that *MOSFET* is the good switching because the time switching "on" and the time switching "off" are almost same.

Key words: *DC Chopper, MOSFET, BJT, IGBT*

A. Pendahuluan

Elektronika daya merupakan salah satu mata kuliah yang membahas bidang ilmu tenaga listrik yang berhubungan dengan penggunaan komponen-komponen elektronika daya untuk merubah daya listrik dan pengendalian daya yang besar. Teknik

konversi memerlukan pensaklaran on dan off komponen semikonduktor daya.

Mengacu pada perkembangan ilmu dan teknologi elektronika daya tersebut, maka kebutuhan akan praktikum elektronika daya sangat diperlukan guna mendukung kesuksesan dari matakuliah elektronika daya. Mengingat keterbatasan dan belum adanya praktikum elektronika daya pada Laboratorim Konversi Energi Listrik Unila, maka penelitian "Perancangan Alat Praktikum Klasifikasi DC Chopper Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro" ini dirancang dan diharapkan dapat segera dipakai agar praktikum elektronika daya dapat terlaksana.

Pada penelitian ini, akan dibuat chopper kelas A dan B, dan kelas C untuk membuktikan gelombang keluaran dari chopper dengan melakukan pengamatan melalui osiloskop. Dengan dirancangnya alat praktikum ini diharapkan dapat mengetahui dan membedakan masing-masing gelombang keluaran dari ketiga bentuk klasifikasi dc chopper. Pengerjaan penelitian ini dititik beratkan pada pembuktian gelombang hasil keluaran dari chopper.

B. Tinjauan Pustaka

1. Klasifikasi Chopper

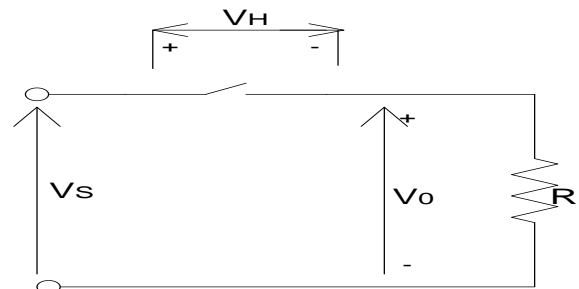
Chopper dapat diklasifikasikan menjadi lima jenis berdasarkan pada arah arus dan tegangan yang mengalir yaitu:

- a. Chopper kelas A
- b. Chopper kelas B
- c. Chopper kelas C
- d. Chopper kelas D
- e. Chopper kelas E

Dalam penelitian ini yang akan dirancang adalah klasifikasi dc chopper kelas A, kelas B, dan kelas C.

a. Chopper Kelas A

Chopper kelas A ini hanya mengirimkan daya dari sumber ke beban.



Gambar 1. Rangkaian Chopper Kelas A

Chopper kelas A ini adalah chopper kuadran ke satu, karena bentuk gelombang yang dihasilkannya berada pada kuadran ke satu. Tegangan dan arus beban adalah positif.

Tegangan keluaran rata-rata diberikan oleh :

$$V_a = \frac{I}{T} \int_0^{t_1} V_o dt = \frac{t_1}{T} V_s = f t_1 V_s = k V_s \quad (1)$$

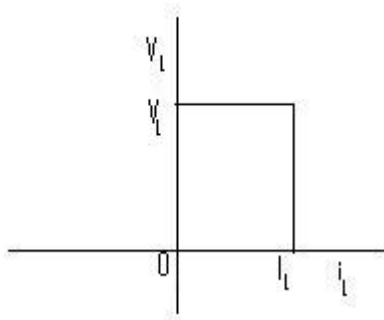
Dan arus beban rata-rata, adalah duty cycle chopper, dan f adalah frekuensi chopping. Nilai rms tegangan keluaran ditentukan dari

$$I_a = \frac{V_a}{R} = \frac{k V_s}{R}, \text{ dengan } T \text{ adalah periode chopping, } k = \frac{t_1}{T}$$

$$V_0 = \left(\frac{1}{T} \int_0^{kT} v^2 dt \right)^{1/2} = \sqrt{k} V_s \quad (2)$$

Dengan mengasumsikan bahwa tidak ada rugi-rugi pada chopper maka daya masukan pada chopper sama dengan daya keluaran yang diberikan dengan

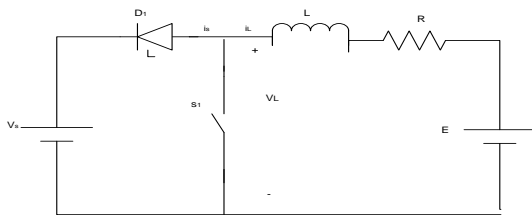
$$P_1 = \frac{1}{T} \int_0^{kT} v_o i dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{v^2}{R} dt = k \frac{v_s^2}{R} \quad (3)$$



Gambar 2. Bentuk Gelombang Chopper Kelas A

b. Chopper Kelas B

Chopper kelas B ini arus bebannya keluar dari beban, dengan baterai E adalah bagian dari beban dan dapat menjadi emf balik motor dc.



Gambar 3. Rangkaian Chopper Kelas B

Chopper ini dapat juga disebut sebagai chopper kuadran kesatu, tetapi bekerja pada kuadran kedua. Tegangan beban positif, tetapi arus beban negatif.

Bila saklar S_1 di on-kan, tegangan E menghasilkan arus melalui induktor L dan tegangan beban v_L menjadi nol. Arus i_L , yang meningkat, dinyatakan sebagai berikut:

$$0 = L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E \quad (4)$$

Dengan kondisi mula $i_L(t=0) = I_1$, memberikan :

$$i_L = I_1 e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} \quad \text{atau } 0 \leq t \leq kT \quad (5)$$

Pada $t = t_1$, $i_L(t = t_1 = kT) = I_2$

Ketika saklar S_1 di-off-kan, jumlah energy yang disimpan pada induktor L dikembalikan pada sumber V_s melalui diode D_1 . Arus beban i_L akan jatuh. Dengan mendefinisikan ulang waktu mula $t = 0$, arus beban i_L dinyatakan oleh :

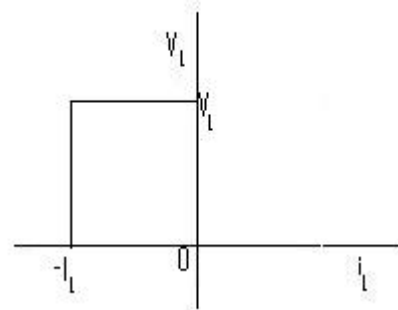
$$V_s = L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E \quad (6)$$

Dengan kondisi mula $i_L(t = t_2) = I_2$, menghasilkan :

$$i_L = I_2 e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} + \frac{V_s - E}{R} \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}\right) \quad \text{atau } 0 \leq t \leq t_2$$

Dengan $t_2 = (1 - k)T$. Pada $t = t_2$ (7)

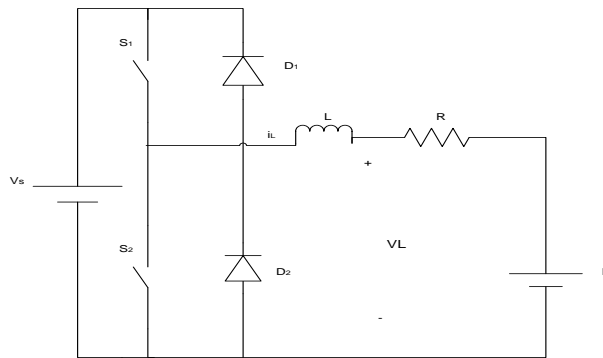
$$i_L(t = t_2) = I_1 \quad \text{untuk arus kontinyu} \\ = 0 \quad \text{untuk arus tak kontinyu}$$



Gambar 4. Bentuk Gelombang Chopper Kelas B

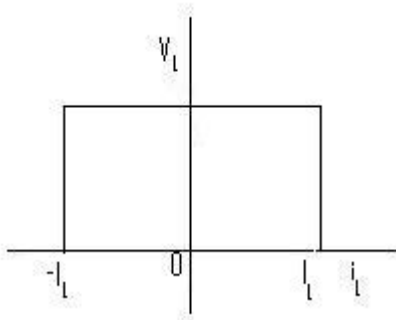
c. Chopper Kelas C

Chopper kelas C dapat juga disebut sebagai kombinasi chopper kelas A dan B. S_1 dan D_2 bekerja seperti chopper kelas A, S_2 dan D_1 bekerja seperti chopper kelas B. Harus dijaga hati-hati agar dua saklar tersebut tidak bekerja secara bersama-sama; bila hal ini terjadi maka sumber V_s akan mengalami hubung singkat. Chopper kelas C ini dapat bekerja sebagai penyearah atau pembalik (inverter).



Gambar 5. Rangkaian Chopper Kelas C

Arus beban dapat positif atau negatif, sedangkan tegangan beban selalu positif. Ini disebut chopper kuadran kedua.



Gambar 6. Bentuk Gelombang Chopper Kelas C

C. PERANCANGAN KLASIFIKASI CHOPPER

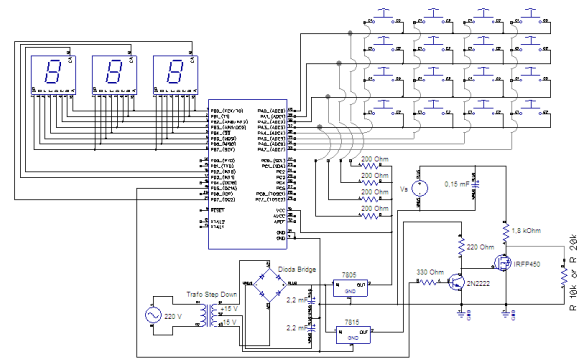
Dalam penyelesaian penelitian ini ada beberapa langkah kerja yang dilakukan untuk mencapai hasil akhir yang diinginkan, di antaranya :

1. Perancangan perangkat keras
2. Perancangan perangkat lunak
3. Pembuatan alat
4. Pengujian alat

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Adapun rangkaian yang telah dibuatkan seperti gambar di bawah ini:

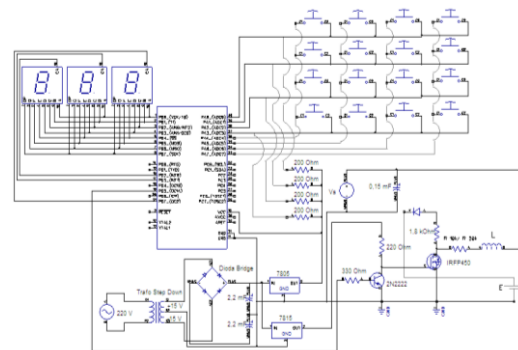
a. Rangkaian Chopper Kelas A



Gambar 7. Skematik Rangkaian Chopper Kelas A

Pengujian chopper kelas A dilakukan dengan memvariasikan jenis transistor yang digunakan sebagai pensaklaran pada chopper yaitu, BJT, MOSFET dan IGBT.

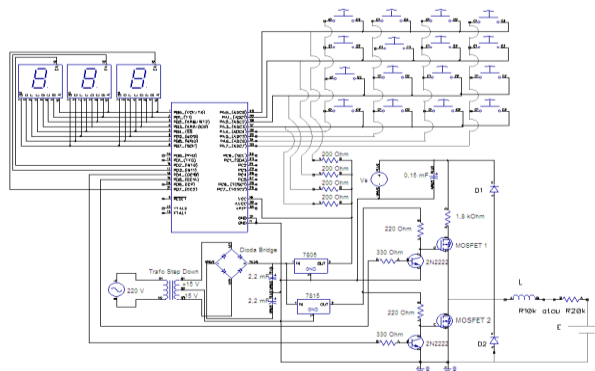
b. Rangkaian Chopper Kelas B



Gambar 8. Skematik Rangkaian Chopper Kelas B

Pengujian chopper kelas B dilakukan dengan memvariasikan jenis transistor yang digunakan sebagai pensaklaran pada chopper yaitu, BJT, MOSFET dan IGBT.

c. Rangkaian Chopper Kelas C

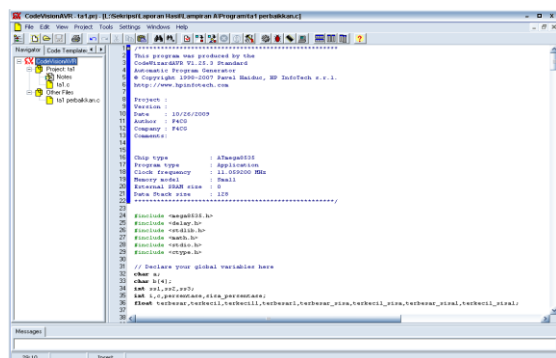


Gambar 9 Skematik Rangkaian Chopper Kelas C

Pengujian chopper kelas C dilakukan dengan memvariasikan jenis transistor yang digunakan sebagai pensaklaran pada chopper yaitu, BJT, MOSFET dan IGBT.

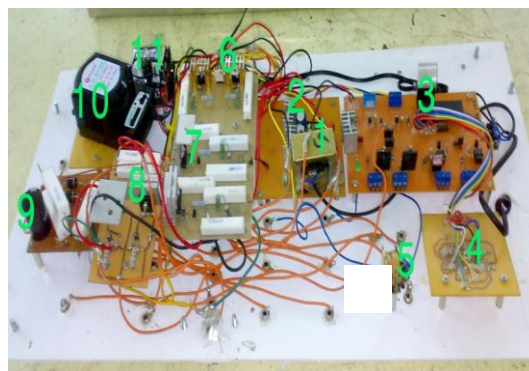
3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini menggunakan software codevision AVR dengan bahasa pemrograman bahasa C dan menggunakan mikrokontroler ATmega8535.



Gambar 10. Tampilan AVR Code Vision

3.3 Pembuatan Alat

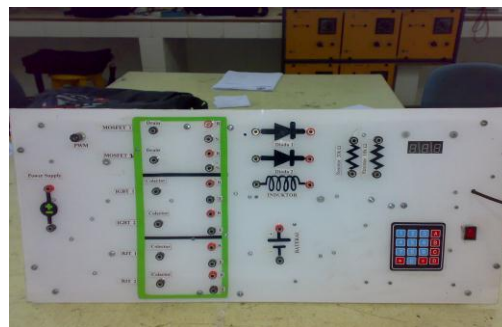


Gambar 11. Alat klasifikasi Chopper

1. Transformer step down
2. Power supply circuit
3. Master controller circuit
4. Seven segment circuit
5. Capacitor 150 μ F
6. Rangkaian BJT
7. Rangkaian MOSFET
8. Rangkaian IGBT
9. Induktor, dioda dan kapasitor
10. Adaptor
11. Tempat Baterai

3.4 Pengujian Alat

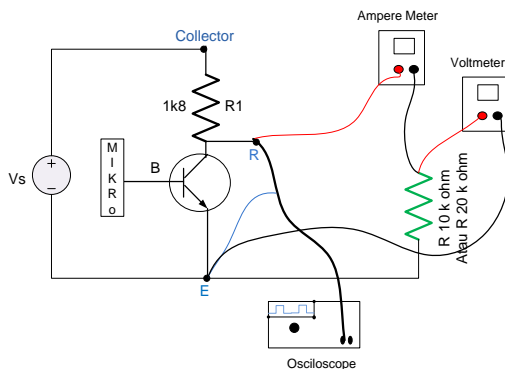
Dalam pengujian alat dilakukan terlebih dahulu dibuat alat pendukung untuk pengambilan data-data yang diinginkan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 12 Tampilan Luar Alat Praktikum

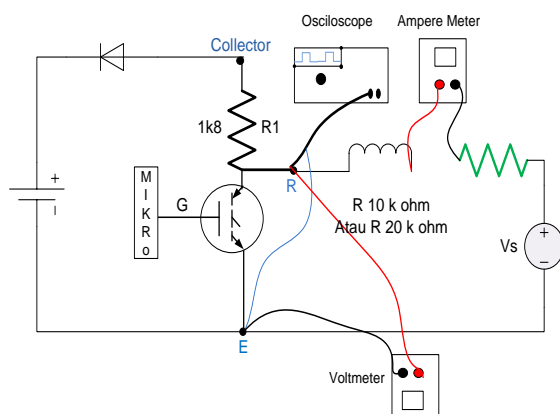
Mode rangkaian yang dilakukan untuk masing-masing kelas dari rangkaian chopper dapat dilakukan seperti gambar di bawah ini

Mode Rangkaian Kelas A



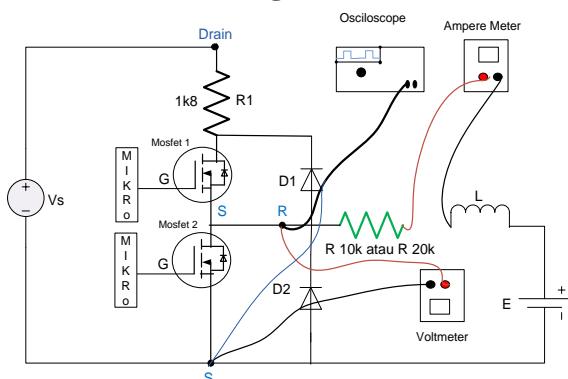
Gambar 13 Mode Rangkaian *Chopper* Kelas A Pada Praktikum

Mode Rangkaian Kelas B



Gambar 14 Mode Rangkaian *Chopper* Kelas B Pada Praktikum

Mode Rangkaian Kelas C



Gambar 15. Mode Rangkaian *Chopper* Kelas C Pada Praktikum

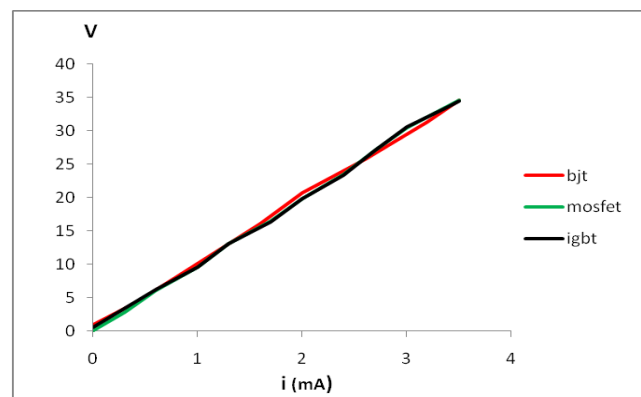
D. HASIL PENGUJIAN

Dari pengujian yang dilakukan untuk masing-masing komponen yang digunakan seperti BJT, MOSFET dan IGBT pada chopper kelas A, Kelas B dan Kelas C maka diperoleh hasil seperti tabel di bawah ini :

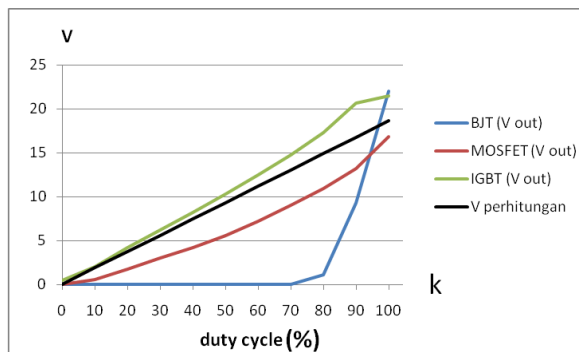
1. Hasil Pengujian Kelas A

Tabel 1. Data hasil pengujian saat $V_{in} = 40V$ dengan beban $10k\Omega$

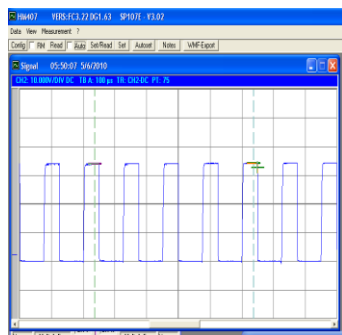
Duty cycle	MOSFET		IGBT		BJT	
	I (mA)	V_{out}	i(mA)	V_{out}	i(mA)	V_{out}
0%	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
10%	0.3	2.8	0.6	6.2	0.0	0.0
20%	0.6	6.0	1.0	9.6	0.0	0.9
30%	1.0	9.5	1.3	13.0	0.4	4.2
40%	1.3	13.0	1.7	16.3	0.8	8.0
50%	1.7	16.4	2.0	19.8	1.2	12.0
60%	2.0	19.8	2.4	23.3	1.6	16.0
70%	2.4	23.4	2.7	27.0	2.0	20.7
80%	2.7	27.0	3.0	30.5	2.6	25.7
90%	3.0	30.4	3.4	33.6	3.2	31.3
100%	3.5	34.5	3.5	34.4	3.5	34.5



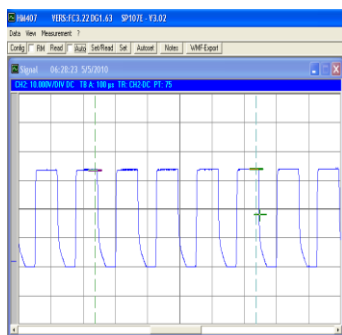
Gambar 16. Hubungan V-I BJT, MOSFET dan IGBT (kwd I) dengan beban $10k\Omega$ dan $V_{in} = 40V$



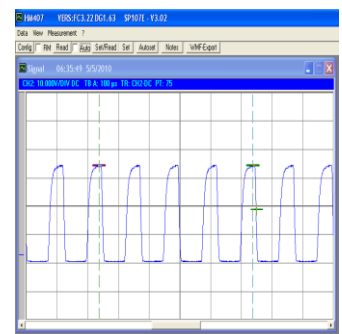
Gambar 17 Perbandingan V_{out} BJT, MOSFET dan IGBT dengan V_{in} 40V dan R 10k Ω pada pengujian *chopper* Kelas A



a. Mosfet



b. IGBT



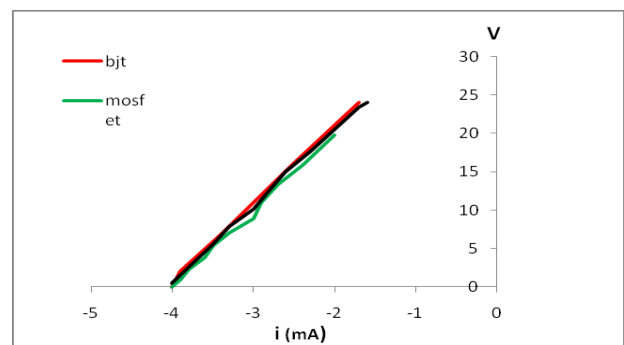
c. BJT

Gambar 18. Bentuk Sinyal Gelombang Keluaran Mosfet, IGBT dan BJT Pada $k=50\%$

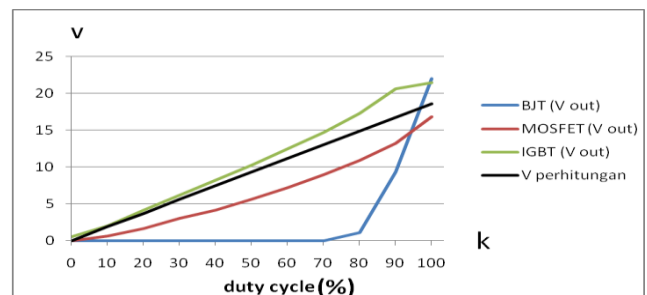
2. Hasil Pengujian Kelas B

Tabel 2. Data hasil pengujian saat $V_{in} = 40V$ dengan beban 10k Ω

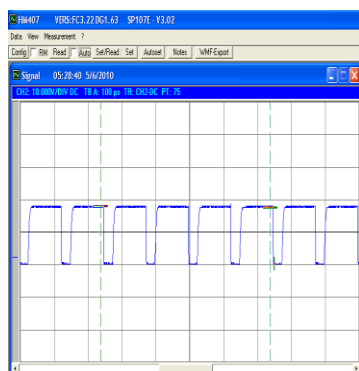
Duty cycle	MOSFET		IGBT		BJT	
	I (mA)	V_{out}	i (mA)	V_{out}	i (mA)	V_{out}
0%	-4.0	0.0	-4.0	0.5	-4.0	0.0
10%	-3.9	0.9	-3.7	3.5	-4.0	0.0
20%	-3.8	2.3	-3.5	5.6	-4.0	0.0
30%	-3.6	3.8	-3.3	7.9	-4.0	0.0
40%	-3.5	5.4	-3.0	10.2	-4.0	0.0
50%	-3.3	7.0	-2.8	12.6	-4.0	0.0
60%	-3.0	8.9	-2.6	15.0	-4.0	0.0
70%	-2.9	11.0	-2.3	17.6	-3.9	2.1
80%	-2.7	13.4	-2.0	20.5	-3.4	6.8
90%	-2.4	15.9	-1.7	23.4	-2.5	16.2
100 %	-2.0	19.8	-1.6	24.0	-1.7	24.0



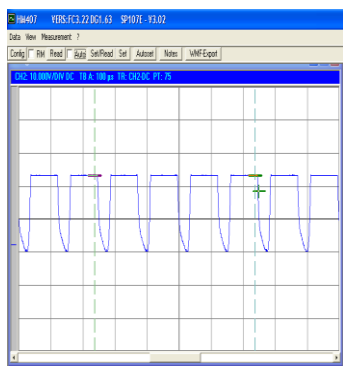
Gambar 19 . Hubungan V - I BJT, MOSFET dan IGBT (**kwd II**) dengan beban 10 k Ω dan V_{in} 40 V



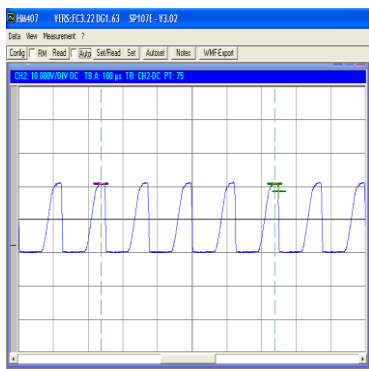
Gambar 20. Perbandingan V_{out} BJT, MOSFET dan IGBT dengan V_{in} 40V dan R 10k pada pengujian *chopper* Kelas B



a. MOSFET



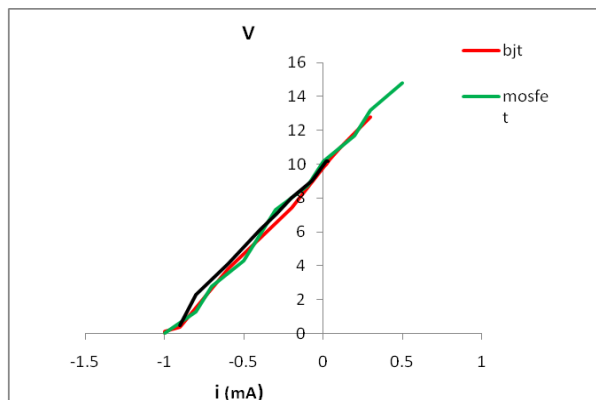
b. IGBT



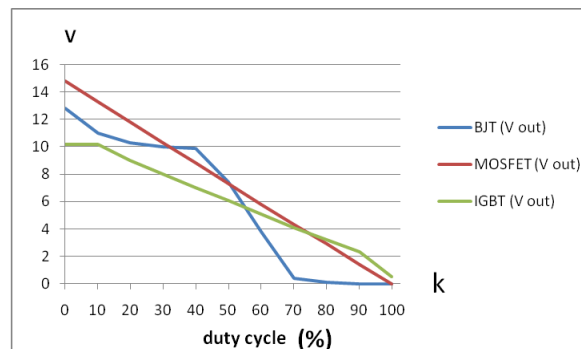
c. BJT

Gambar 21. Bentuk Sinyal Gelombang Keluaran Mosfet, IGBT dan BJT Pada k=80%

20%	0.2	11.7	-0.07	9.0	0.04	10.3
30%	0.0	10.2	-0.2	8.0	0.02	10.0
40%	-0.1	8.7	-0.3	7.0	0.01	9.9
50%	-0.3	7.2	-0.4	6.1	-0.2	7.4
60%	-0.4	5.8	-0.5	5.1	-0.6	3.8
70%	-0.5	4.3	-0.6	4.1	-0.9	0.4
80%	-0.7	2.8	-0.7	3.2	-1.0	0.1
90%	-0.8	1.3	-0.8	2.3	-1.0	0.0
100%	-1.0	0	-0.9	0.5	-1.0	0.0



Gambar 22. Hubungan V-I BJT, MOSFET dan IGBT (kwd I&II) dengan beban 10 kΩ dan V in 40 V.

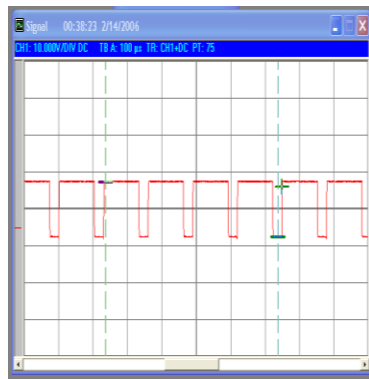


Gambar 23. Perbandingan V out BJT, MOSFET dan IGBT dengan Vin 40V dan R 10k pada pengujian chopper Kelas C

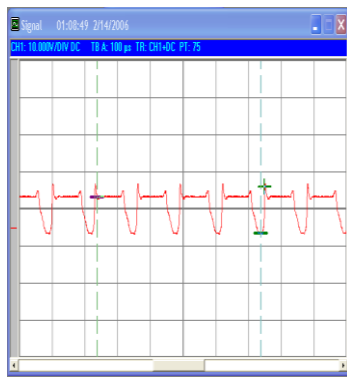
3. Hasil Pengujian Kelas C

Tabel 3. Data hasil pengujian saat Vin = 40V dengan beban 10kΩ

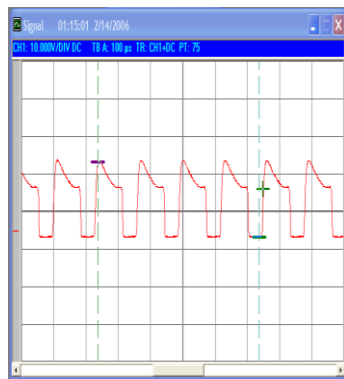
Duty cycle	MOSFET		IGBT		BJT	
	I (mA)	V _{out}	i(mA)	V _{out}	i(mA)	V _{out}
0%	0.5	14.7	0.03	10.2	0.3	12.8
10%	0.3	13.2	0.02	10.2	0.11	11.0



a. MOSFET



b. IGBT



c. BJT

Gambar 25. Bentuk Sinyal Gelombang Keluaran Mosfet, IGBT dan BJT Pada $k=30\%$

3. KESIMPULAN dan SARAN

Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk daya-daya yang kecil, MOSFET memiliki pensaklaran yang lebih baik jika dibandingkan dengan IGBT dan BJT, karena tegangan keluaran yang dihasilkannya cenderung stabil dan selalu hampir sama dengan tegangan perhitungannya ketika duty cycle maupun V_{in} divariasikan.
2. BJT memiliki pensaklaran yang lebih buruk, karena V_{out} yang dihasilkan oleh BJT cenderung tidak stabil dan tidak seiring dengan kenaikan nilai *duty cycle* yang diberikan.
3. Pada IGBT kenaikan tegangan keluaran setiap interval *duty cycle* yang dihasilkannya cenderung stabil hanya saja V_{out} nya lebih besar dari $V_{perhitungannya}$. IGBT baik digunakan untuk daya-daya yang besar.

Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Jika diperlukan dapat dilakukan tambahan komponen pensaklaran elektronika daya yang lain seperti SIT, GTO dll, agar lebih menambah kajian dan perbedaan karakteristik dari masing-masing komponen.
2. Perlunya ditambah alat-alat praktikum elektronika daya yang lain, untuk lebih menambah pengetahuan para mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, O.2002. *Dasar-Dasar Elektronika*. Erlangga. Jakarta.
- Cyril, W.1987, *Power Electronics*, McGraw- Hill, UK.

- Ned Mohan, Tore, M, William. P, 1989,
*Power Electronics, Converters,
Application and Design*, Joh Willey
& Son, INC, USA.
- Rashid, M. 1993. *Elektronika Daya jilid 1*. Pt
Prenhallindo. Jakarta.
- Wardhana, L. 2006. *Belajar Sendiri
Mikrokontroller Seri ATmega8535*.
Penerbil Andi. Yogyakarta.
- Zuhal. 1995. *Belajar Sendiri Dasar Teknik
Tenaga Listrik dan Elektronika
Daya*. Penerbil PT Gramedia Pustaka
Utama. Jakarta.